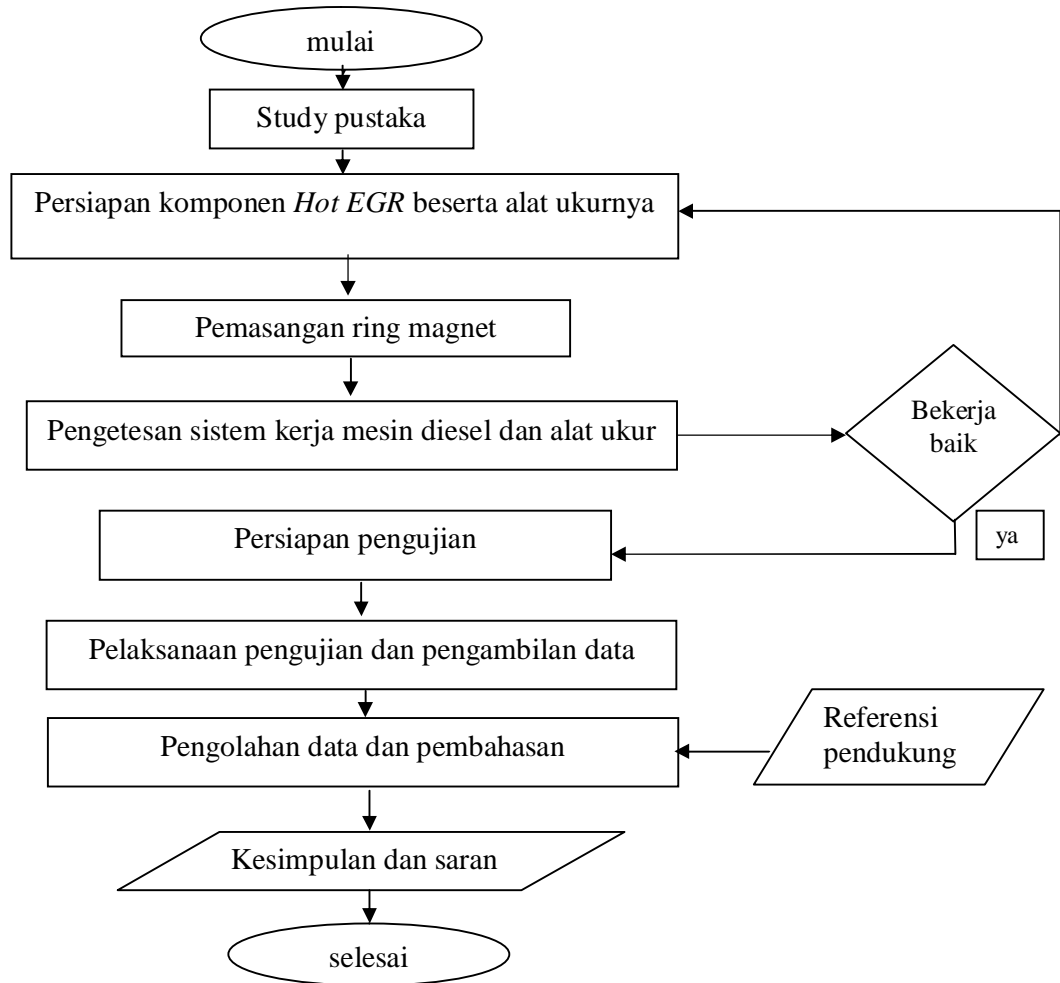


### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

##### 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Didalam melakukan pengujian diperlukan beberapa tahapan agar dapat berjalan lancar, sistematis dan sesuai dengan prosedur dan literatur yang ada.



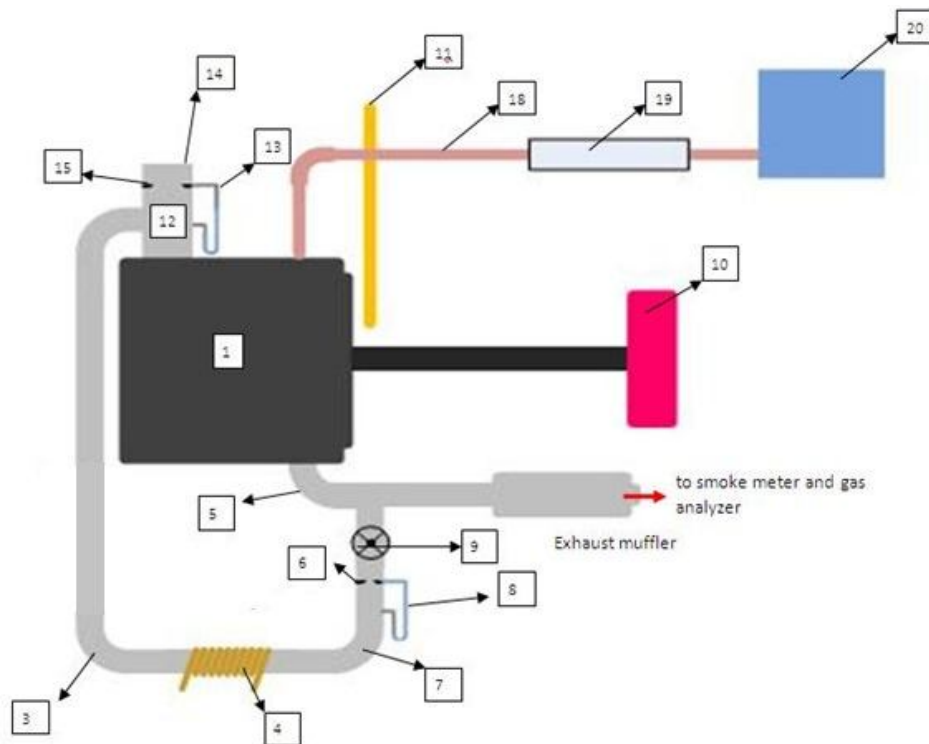
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Keterangan:

Bekerja baik: karena alat *heater* pada penelitian ini dapat berfungsi dengan baik dalam menaikkan temperatur mesin diesel, dan *ring magnetik* dapat berfungsi dengan baik.

### 3.2 Deskripsi Alat-alat Uji

Alat pengujian terdiri dari mesin uji, dinamometer, dan alat ukur lainnya. Susunan alat uji tampak pada skema di bawah:



Gambar 3.2 Deskripsi Alat-alat Uji

Keterangan:

- |                       |                             |                            |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Mesin diesel       | 9. Dinamometer              | 17. Tangki penampung solar |
| 2. Termokopel $T_3$   | 10. Buret/ gelas ukur       |                            |
| 3. Heater             | 11. Termokopel $T_4$        |                            |
| 4. Termokopel $T_1$   | 12. Manometer <i>intake</i> |                            |
| 5. <i>EGR orifice</i> | 13. Termokopel $T_5$        |                            |
| 6. Termokopel $T_2$   | 14. <i>Intake orifice</i>   |                            |
| 7. Manometer EGR      | 15. Penampung               |                            |
| 8. Katup EGR          | 16. Ring Diesel             |                            |

### 3.2.1 Mesin Uji



Gambar 3.3 Mesin Uji

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Uji

| Spesifikasi                                   | Uraian  |
|---|---|
| Tipe Mesin                                    | C223, Pendinginan air, 4 langkah sejajar, tipe katup atas |
| Tipe ruang bakar                              | Tipe ruang pusar  |
| Tipe pelapis dalam silinder                   | kering (cromard liner)                                    |
| Sistim gigi timing                            | Roda gigi   |
| Jumlah ringpiston                             | Ring kompresi 2 ring minyak 1                             |
| Jumlah silinder - garis tengah x langkah (mm) | 4 - 88 x 92   |
| Isi silinder (cc)                             | 2.238   |
| Perbandingan kompresi                         | 21:1  |
| Ukuran mesin :                                |   |
| panjang x lebar x tinggi (mm)                 | 741 x 546 x 716   |
| Berat mesin (kg)                              | 220   |
| Urutan injeksi bahan bakar                    | 1-3-4-2   |
| Timing injeksi bahan bakar                    | 10°   |
| Tipe pompa injeksi                            | Bosch distributor   |
| Tipe alat pengabut                            | Tipe throttle   |
| Tekanan awal injeksi (kg/cm <sup>2</sup> )    | 105   |
| Tekanan kompresi (kg/cm <sup>2</sup> )        | 31 pada 200 rpm   |
| Putaran tanpa beban (rpm)                     | 675-725   |
| Celah katup isap dan buang (rpm)              | (dingin)0.45  |
| Katup isap terbuka pada                       | 11° sb TMA  |
| tertutup pada                                 | 49° sd TMB  |
| Katup buang terbuka pada                      | 51° sb TMB  |
| tertutup pada                                 | 9° sd TMA   |
| Metode pelumasan                              | Sirkulasi bertekanan                                      |
| Kapasitas minyak pelumas (liter)              | 6.0   |
| Metode pendinginan                            | Sirkulasi bertekanan                                      |
| Kapasitas air pendinginan (liter)             | 9.0   |
| Tipe baterai - tegangan (V)                   | NS70 – 12   |
| Kapasitas dinamo pengisi (V – ah)             | 12 – 40   |
| Kapasitas stater (V -Kw)                      | 12 - 2.0  |

(Isuzu Zirang Semarang)

### 3.2.2 Alat Uji Gas Buang



Gambar 3.4 Alat Uji Gas Buang

Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Uji Gas Buang [Ref.21]

| Uraian                        | Stargass                                |
|-------------------------------|---|
| Power                         | 270V 50-60Hz                            |
| Battery                       | 16V (5A fuse)                           |
| Max consumption               | 70Wr                                    |
| Display                       | LCD 320x240                             |
| Printer                       | Thermal bi-color (black/red,24 columns) |
| Serial ports                  | COM1, COM2, RS232, RS485                |
| Video plug VGA                | PALor NTSC                              |
| Parameters Abient temperature | -40 - +60 celcius                       |
| Ambient pressure              | 750 - 1060 hPa                          |
| Ambient relative humidity     | 0% - 100%                               |
| Refresh rate                  | 20 times per second                     |
| Flow Rate                     | 10 liter per minute                     |
| Working temperature           | +5 - +40celcius                         |
| Feature                       | Clock, date and time print              |
| Size                          | 400x180x450                             |
| Weight                        | 8,6 kgs                                 |

Instrumen ini didesain untuk mengukur CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> untuk mesin bensin, sedangkan untuk mesin diesel hanya bisa digunakan untuk mengukur opasitas.

### 3.2.3 Smoke Analysis Chamber



Gambar 3.5 *Smoke Analysis Chamber*

**Tabel 3.3 Spesifikasi Smoke Analysis Chamber**

| Uraian                        | Keterangan                              |
|-------------------------------|---|
| Power                         | 270V 50-60Hz                            |
| Battery                       | 16V (5A fuse)                           |
| Max consumption               | 70W                                     |
| Display                       | LCD 320x240                             |
| Printer                       | Thermal bi-color (black/red,24 columns) |
| Serial ports                  | COM1, COM2, RS232, RS485                |
| Video plug VGA                | PALor NTSC                              |
| Parameters Abient temperature | -40 - +60 celcius                       |
| Ambient pressure              | 750 - 1060 hPa                          |
| Ambient relative humidity     | 0% - 100%                               |
| Refresh rate                  | 20 times per second                     |
| Flow Rate                     | 10 liter per minute                     |
| Working temperature           | +5 - +40celcius                         |
| Feature                       | Clock, date and time print              |
| Size                          | 400x180x450                             |
| Weight                        | 8,6 kgs                                 |

*Smoke Analysis Chamber* akan menganalisa kandungan gas buang dan menghitung campuran udara – bahan bakar ( $\lambda$ ) berdasarkan RPM mesin. Gas buang diukur dengan memasukkan *probe* ke dalam gas buang kendaraan. Gas buang

yang dianalisa telah dipisahkan dari kandungan airnya melalui saringan kondensasi yang lalu diteruskan ke sel pengukuran.

Pemancar akan menghasilkan sinar infra merah yang dikirim melalui filter optis ke penerima sinar infra merah untuk menganalisa kandungan gas buang berupa CO, HC, CO<sub>2</sub>, yang lalu diteruskan ke ampliflier dan selanjutnya ditampilkan di *display*. Gas yang terdapat pada sel ukur akan menyerap sinar infra merah dengan panjang gelombang yang berbeda tergantung dari masing-masing konsentrasi gas. Gas H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> (memiliki nomor atom yang sama) akan membentuk komposisi molekul dan tidak menyerap sinar infra merah. Sehingga pengukuran ketiga komponen tersebut melalui sensor kimia. Dalam hal ini alat *gas analyzer* Stargas 898 hanya digunakan untuk mengetahui *opacity* gas buang dari mesin diesel saja.

### 3.2.4 Buret



Gambar 3.6 Buret

Digunakan untuk menghitung volume bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin uji selama pengujian. Pemakaian bahan bakar dihitung berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan tiap 20 ml bahan bakar. Buret yang digunakan disini adalah pada waktu pedal rem ditekan dan menunjukkan putaran yang diinginkan maka katup bahan bakar ditutup sehingga pemakaian bahan bakar dihitung berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan tiap 20 ml bahan bakar. Setelah itu katup dibuka kembali dan seterusnya.

### 3.2.5 Stopwatch

Alat pencatat waktu disini digunakan untuk mengukur waktu konsumsi bahan bakar. *Stopwatch* yang digunakan sebanyak 3 buah dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

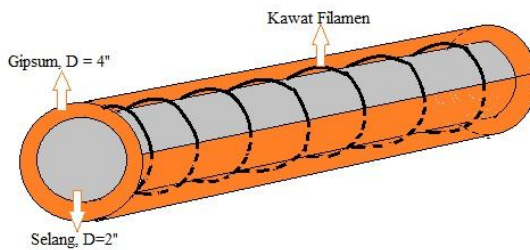
Buterfly stopwatch : range 0 s/d 60 s



Gambar 3.7 *Stopwatch*

### 3.2.6 Heater 2000 watt

*Heater* yang kita gunakan memiliki daya 2000 watt, digunakan untuk memanaskan udara setelah masuk ke katub EGR. Udara ini dipanaskan dengan variasi, 100 °C. Pemanasan udara ini tidak langsung masuk ke *intake manifold*, tetapi masih di dalam sistem EGR, seperti terlihat didalam hasil penelitian, dimana udara akan bercampur dahulu dengan udara luar sebelum masuk ke *intake manifold*.



Gambar 3.9 Heater



### 3.2.7 Termokopel



Gambar 3.10 Termokopel Tipe K

Tabel 3.4 Spesifikasi Termokopel

| Thermocouple type | Overall range °C | 0,1°C resolution | 0,025°C resolution |
|-------------------|------------------|------------------|--------------------|
| K                 | -270 to 1370     | -270 to 1370     | -250 to 1370       |

Termokopel adalah alat untuk mengukur temperatur. Prinsip dari termokopel ini adalah dua buah metal yang berbeda digabungkan bersama, sehingga menimbulkan beda potensial jika salah satu ujungnya diberi panas. Dalam pemakaian termokopel diperlukan adanya suatu display yang berfungsi untuk menampilkan nilai dari temperatur yang terukur.

Termokopel banyak digunakan sensor suhu untuk pengukuran dan pengendalian. Termokopel secara luas digunakan dalam ilmu pengetahuan dan industri; aplikasi meliputi pengukuran suhu untuk turbin gas buang, mesin diesel, dan proses industri lainnya. Termokopel yang digunakan dalam penelitian adalah tipe K.

### 3.2.8 Dinamometer



Gambar 3.11 Dinamometer

Tabel 3.5 Spesifikasi Dinamometer [Ref.22]

|               |   |
|---------------|---|
| Uraian        | Land and Sea  |
| Hp            | 15 to 800 (standart - single rotor)                               |
| Hp option     | 1 to over 10.000  |
| Torque option | 2 to over 5.000 lb-ft   |
| RPM           | 1.000 to over 10.000(standart)- optional absorbers to over 20.000 |

Dinamometer digunakan untuk mengukur torsi sebuah mesin. Jenis dinamometer yang digunakan adalah hidraulik dengan fluida air. Dinamometer hidraulik ini memiliki dua komponen penting yaitu sudu gerak (rotor) dan sudu tetap (stator). Rotor terhubung dengan poros dari mesin yang akan diukur, dimana putaran dari mesin tersebut memutar rotor dinamometer. Rotor akan mendorong air didalam dinamometer, sehingga air akan terlempar menghasilkan tahanan terhadap putaran mesin dan menghasilkan panas. Aliran air secara kontinyu melalui rumah (casing) sangat penting untuk menurunkan temperatur dan juga untuk melumasi *seal* pada poros. Sedangkan stator terletak berhadapan dengan rotor dan terhubung tetap pada casing. Pada casing dipasang lengan, dimana pada ujung lengan terhadap alat ukur pembebanan sehingga torsi yang terjadi dapat diukur.

Dalam melakukan pengujian torsi kali ini, digunakan metode *Constant Speed Test* yaitu metode untuk mengetahui karakteristik motor bakar yang beroperasi dengan

beban bervariasi, tapi putarannya konstan. Hal ini dilakukan dengan cara, pada bukaan gas tertentu diperoleh rpm tertingginya dan kemudian dilakukan pengeraman pada rpm yang diinginkan hingga batas minimumnya. Dalam kondisi ini sudu gerak (rotor) akan tertahan oleh *casing* (stator), pada *casing* dipasang lengan, dimana pada ujung lengan terdapat alat ukur pembebanan sehingga torsi yang terjadi dapat diukur dan akan menekan batang besi sebesar beban yang tampil pada *load display*. *Load display* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.12 *Display Load*

### 3.2.9 Proximity Sensor

*Proximity Sensor* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur jumlah putaran suatu poros yang berputar. Sensor ini mampu mendeteksi keberadaan benda di sekitarnya tanpa ada kontak fisik. Cara kerja sensor ini memancarkan medan elektromagnetik atau listrik, atau sinar radiasi elektromagnetik (inframerah, misalnya), dan mencari perubahan sinyal secara aktual.



Gambar 3.13 *Proximity Sensor*

Diperlukan *display* dalam penggunaan *proximity sensor* sebagai alat baca. Nantinya *display* akan menampilkan nilai RPM.



Gambar 3.14 *Display Proximity Sensor*

### 3.2.10 *Thermostat*

*Thermostat* adalah perangkat untuk mengatur suhu sistem sehingga suhu sistem dipertahankan dekat suhu *setpoint* yang diinginkan. *Thermostat* melakukan pemanasan atau pendinginan atau menonaktifkan perangkat, atau mengatur aliran cairan perpindahan panas yang diperlukan, untuk mempertahankan suhu yang tepat. *Thermostat* bisa digunakan dalam banyak cara dan dapat menggunakan berbagai sensor untuk mengukur suhu. Output dari sensor kemudian mengontrol apparatus pemanasan atau pendinginan. *Thermostat* dalam penelitian ini digunakan untuk mengatur suhu *heater* yang disesuaikan dengan variasi.



Gambar 3.15 *Thermostat Autonic*

### 3.2.11 *Orifice Plate Flowmeter*

*Orifice plate* adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran masa dari aliran, prinsip kerjanya aliran melewati *orifice plate* kemudian akan

mengecil dan membentuk suatu daerah yang disebut *vena contracta* selanjutnya akan terjadi perbedaan tekanan aliran antara sebelum dan setelah melewati *orifice plate*, dan setelah itu laju aliran masa dari aliran dihitung menggunakan persamaan Bernoulli dan persamaan kontinuitas.



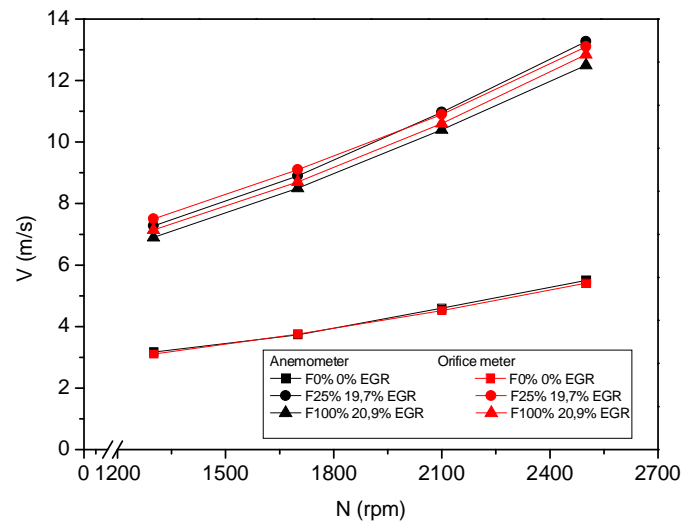
Gambar 3.16 *Orifice Plate*

### 3.3 Kalibrasi Alat Uji

Kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan sifat-sifat metrologi suatu alat ukur dengan membandingkannya terhadap standar ukur sehingga menyakini nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur adalah benar. Proses kalibrasi sangat penting dalam suatu pengukuran untuk menjamin validitas data pengujian. Hal ini karena alat ukur akan mengalami perubahan setelah pemakaian yang lama, sehingga hasil yang ditunjukkan pada alat tersebut belum tentu menunjukkan data yang sebenarnya. Berikut ini adalah hasil kalibrasi alat uji:

#### 1. Orifice Flow Meter

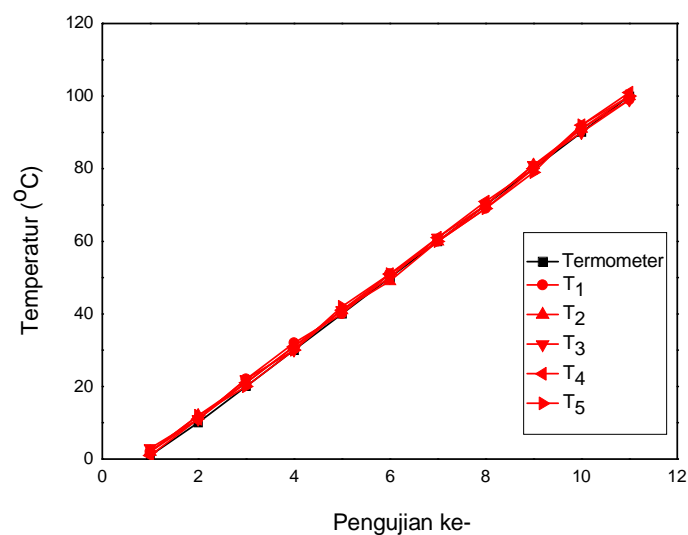
*Orifice* yang digunakan dalam pengujian ini di validasi dengan anemometer digital. Cara memvalidasinya adalah membandingkan kecepatan udara yang masuk ke *intake manifold* setelah melewati *orifice* dengan mengukur kecepatan udara menggunakan anemometer digital. Anemometer diletakan di atas pipa udara yang digunakan sebagai jalur udara luar masuk ke *intake manifold*, sedangkan orificenya sendiri berada di dalam pipa tersebut. Pengukuran dengan anemometer dilakukan sebanyak 3 kali. Berikut grafik perbandingan hasil kalibrasi:



Gambar 3.16 Grafik hubungan antara  $V$  (m/s) dengan Putaran mesin (rpm) yang menyatakan perbandingan hasil pengukuran dari anemometer dengan orifice meter.

## 2. Termokopel

Termokopel pada pengujian ini dikalibrasi dengan termometer ruangan. Cara mengkalibrasinya dengan meletakkan ke-5 termokopel dan termometer pada suatu ruangan tertentu. Termokopel dihubungkan dengan *display* untuk mengetahui nilai temperatur ruangan. Berikut grafik perbandingan hasil kalibrasi.



Gambar 3.17 Grafik kalibrasi termokopel yang menyatakan perbandingan hasil pengukuran dari termometer dengan termokopel.

### 3.4 Prosedur Pengujian

#### 3.4.1 Persiapan pengujian

Sebelum melakukan pengujian ada beberapa hal yang perlu dilakukan agar pada saat pengujian tidak mengalami gangguan maupun kecelakaan kerja. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah penyetelan dan pengecekan mesin uji, adapun yang harus dilakukan sebelum pengujian adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan bahan bakar.
2. Periksa pelumas mesin, baik secara kualitas maupun secara kuantitas.
3. Periksa kondisi mesin uji, penyetelan *Bosch Pump* dan Filter bahan bakar dan pembersihan seluruh sistem bahan bakar dan pengapian.
4. Mengkalibrasi alat-alat ukur yang akan digunakan.
5. Memasang semua alat uji.
6. Menyiapkan alat-alat ukur yang diperlukan selama pengujian.
7. Periksa semua selang bahan bakar dan memastikan tidak terdapat kebocoran untuk menghindari terjadinya kecelakaan.

#### 3.4.2 Pengujian Kalori Bahan Bakar

Dalam pengujian ini kita menggunakan solar sebagai bahan bakarnya. Untuk itu kita perlu melakukan pengujian untuk mengetahui kalori dari solar yang akan kita gunakan. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Alat BOM Kalorimeter dinyalakan
2. Temperatur air diturunkan dengan menggunakan *water ciller* sampai  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ , saat proses ini berarti mesin mulai *running*.
3. Selama proses *running* dilakukan proses penimbangan bahan bakar. Berat yang diharuskan  $\pm 1\text{gr}$ , dalam penimbangan ini, bahan bakar diletakkan dalam cawan khusus.
4. Masukkan bahan bakar yang telah ditimbang tadi kedalam reaktor BOM kalorimeter dengan ditambahkan kawat pemijar.
5. Tutup reaktor dan setelah itu diisi dengan  $\text{O}_2$  sebesar  $30\text{ lbs/in}^2$ .
6. Masukkan reaktor tersebut kedalam *bucket* yang telah diisi air 200 ml dengan temperatur  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ .

7. *Bucket* yang telah diisi reaktor kemudian dimasukkan kedalam *pocket* yang berada di mesin BOM kalorimeter.
8. Input data ke mesin BOM kalorimeter dengan parameter adiabatik.
9. Tekan START
10. Tunggu sampai hasil keluar.
11. Hasil kalori dari solar adalah  $\pm 10810$  kal/gr.

### 3.5 Variabel dan Langkah Pengujian

Berikut ini adalah variabel pengujian dan langkah pengujian yang berpengaruh pada hasil pengujian. Dimana langkah pengujian dijabarkan hanya yang merupakan variabel independen yang mempengaruhi variabel dependen.

#### 3.5.1 Variabel Pengujian

Dalam pengujian ini terdapat beberapa variabel yang merupakan dependen maupun variabel independen yang mempengaruhi hasil pengujian yaitu:

1. Putaran mesin.
2. Variasi bukaan katub beban.
3. Variasi bukaan katub EGR.
4. *Hot* EGR dengan menggunakan *Heater*.
5. Penggunaan ring magnet

#### 3.5.2 Langkah Pengujian

Supaya pengujian berjalan secara teratur dan simetris, maka disusun beberapa langkah pengujian. Pengujian ini dilakukan 6 tahap, yaitu :

1. Pengujian tanpa beban (variasi rpm)  
Pada pengujian ini hanya melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm.
2. Pengujian tanpa beban (variasi rpm dan EGR)  
Pada pengujian ini kita melakukan 2 variasi yaitu:
  - Melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm.
  - Melakukan variasi EGR dengan bukaan 25%, 50%, 75% dan 100%.



Pada pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh prestasi mesin disel seperti daya, torsi, AFR, konsumsi bahan bakar pada kondisi tanpa pembebanan.

3. Pengujian tanpa beban (variasi rpm, EGR dan *venturi scrubber*)

Pada pengujian ini kita melakukan 3 variasi yaitu:

- Melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm.
- Melakukan variasi EGR dengan bukaan 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi *Heater* untuk menaikkan suhu pada  $T_3$  ke suhu  $100^{\circ}\text{C}$

Pada pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh prestasi mesin diesel seperti daya, torsi, AFR, konsumsi bahan bakar pada kondisi tanpa pembebanan dengan penurunan suhu udara yang masuk pada *intake manifold*.

4. Pengujian dengan beban. (variasi rpm)

Pada pengujian ini dipasang dinamometer *water brake* sebagai beban. Dinamometer ditahan pada kondisi pembebanan tertentu.

- Melakukan variasi beban dari 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm.

5. Pengujian dengan beban (variasi rpm dan EGR)

Pada pengujian ini dipasang dinamometer *water brake* sebagai beban. Dinamometer ditahan pada kondisi pembebanan tertentu.

- Melakukan variasi beban dari 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm .
- Melakukan variasi EGR dengan bukaan 25%, 50%, 75% dan 100%.

Pada pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh prestasi mesin diesel seperti daya, torsi, AFR, konsumsi bahan bakar pada kondisi pembebanan.

6. Pengujian dengan beban. (variasi rpm, EGR dan *venturi scrubber*)

Pada pengujian ini dipasang dinamometer *water brake* sebagai beban. Dinamometer ditahan pada kondisi pembebanan tertentu.

- Melakukan variasi beban dari 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm.
- Melakukan variasi EGR dengan bukaan 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi *Heater* untuk menurunkan suhu pada  $T_3$   $100^{\circ}\text{C}$

- Pada pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh prestasi mesin diesel seperti daya, torsi, AFR, konsumsi bahan bakar pada kondisi pembebanan, dengan kenaikan suhu udara yang masuk pada intake manifold.
7. Pengujian dengan beban. (variasi rpm, EGR, dan bahan bakar solar)

Pada pengujian ini dipasang dinamometer *water brake* sebagai beban dan digunakan bahan bakar solar. Dinamometer ditahan pada kondisi pembebanan tertentu.

- Melakukan variasi beban dari 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi RPM dari 1300, 1700, 2100 dan 2500 rpm.
- Melakukan variasi EGR dengan bukaan 25%, 50%, 75% dan 100%.
- Melakukan variasi *Heater* untuk menaikkan suhu pada  $T_3$  100 °C
- Pada pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh prestasi mesin diesel seperti daya, torsi, AFR, konsumsi bahan bakar pada kondisi pembebanan, dengan kenaikan suhu udara yang masuk pada *intake manifold* dan kenaikan prosentase bahan bakar solar.

Sedangkan untuk menguji variabel-variabel pengujian dilakukan langkah-langkah berikut:

1. Putaran mesin

Alat: rpm meter

Langkah pengujian:

- Hidupkan mesin dan distabilkan hingga keadaan stabil.
- Putar *throttle gas* dan baca *display* rpm meter, sehingga tercapai putaran mesin yang diinginkan terlihat pada rpm meter.
- Lakukan pencatatan pada tiap-tiap variasi.
- Tiap variasi dilakukan pengujian 3 kali.

2. Beban

Alat: Dinamometer

Langkah pengujian:

- Pasang dinamometer
- Pasang saluran air dari tangki ke dinamometer, pastikan tidak ada kebocoran.

- Hidupkan mesin dan distabilkan hingga keadaan stabil.
- Lakukan pembebanan yang diinginkan dengan mengatur debit air yang masuk ke dinamometer.
- Lakukan pencatatan pada tiap-tiap variasi.
- Tiap variasi dilakukan pengujian 3 kali.

3. Melakukan pengukuran konsumsi bahan bakar.

Alat: Stop watch dan buret

Langkah pengujian

- Hidupkan mesin dan distabilkan hingga keadaan stabil.
- Memutus aliran bahan bakar ke selang.
- Dengan menggunakan stopwatch, ukur waktu untuk tiap 20 cc pada buret
- Lakukan pencatatan pada tiap-tiap variasi.
- Tiap variasi dilakukan pengujian 3 kali.

4. Laju massa udara

Alat : *orifice plate flowmeter*

Persiapan:

- Pasang *orifice plate flowmeter* pada saluran *intake manifold* dan pada kran bukaan sistem EGR

Langkah pengujian:

- Hidupkan mesin dan distabilkan sampai keadaan stabil.
- Baca dan catat nilai yang didapat yaitu tekanan udara masuk ke saluran *intake manifold* dan saluran bukaan EGR.
- Lakukan pencatatan pada tiap-tiap variasi.
- Tiap variasi dilakukan pengujian 3 kali.

5. Nilai temperatur

Alat: *Thermokopel*

*Display*

Langkah pengujian:

- Hidupkan mesin dan distabilkan hingga keadaan stabil.

- Pada tiap titik termokopel, temperatur udara terbaca dengan menggunakan *Display*
- Hasil yang terbaca itu kita catat
- Lakukan pencatatan pada tiap-tiap variasi.
- Tiap variasi dilakukan pengujian 3 kali.

### 3.6 Metode Perhitungan

#### 3.6.1 Perhitungan daya

Torsi yang dihasilkan mesin adalah :

$$T = F \times b \quad (3.1)$$

dimana F adalah gaya penyeimbangan yang diberikan dan b adalah jarak lengan torsi. Adapun daya yang dihasilkan mesin atau diserap dinamometer adalah hasil perkalian dari torsi dan kecepatan sudut. [rumus 2.2] Setelah melakukan perhitungan daya maka kita dapat mencari nilai tekanan efektif rata-rata (bmep) dari kerja mesin tersebut. [rumus 2.4]

Sebelum perhitungan bmep, kita harus mengetahui nilai dari  $V_d$ , yang didapat dari diameter langkah mesin, jumlah silinder.

$$V_d = \frac{4 \times \frac{\pi}{60} \times B^2 \times L}{1000} \quad (3.2)$$

dalam satuan SI:

T = torsi (Nm)

F = gaya penyeimbang (N)

b = jarak lengan torsi (m)

n = putaran kerja (rev/min)

$n_R$  = jumlah putaran engkol untuk setiap langkah kerja  
2 ( untuk siklus 4 langkah)

bmep = tekanan efektif rata-rata (kPa)

$V_d$  = Volume silinder / displacement volum ( $\text{dm}^3$ )

B dan L = Diameter langkah (mm)

### 3.6.2 Konsumsi bahan bakar

Pemakaian bahan bakar solar dihitung berdasarkan waktu pemakaian sebanyak 20 ml. Perhitungan konsumsi bahan bakar untuk :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.3)$$

Dalam satuan SI, yaitu:

Q = konsumsi bahan bakar ( ml/s )

t = waktu untuk menghabiskan 20 ml bahan bakar (s)

v = volume bahan bakar yang dikonsumsi ( ml )

### 3.6.3 Konsumsi Udara

Pemakaian udara untuk pembakaran diukur dari kecepatan udara yang melewati orifice meter dirumuskan :

$$\dot{m} = \frac{YC_d A_2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (3.4)$$

dimana dalam kaitanya dengan orifice meter, yaitu:

Cd = (*discharge coefficient*)

Untuk nilai Cd ASME merekomendasikan persamaan:

$$C_d = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,184\beta^8 + 91,71\beta^{2,5} \text{Re}_1^{-0,75} + \frac{0,09\beta^4}{1-\beta^4} F_1 - 0,0337\beta^3 F_2$$

D<sub>2</sub> = diameter orifice 2

D<sub>1</sub> = diameter orifice 2

ρ<sub>a</sub> = massa jenis udara ( tergantung dari temperatur udara *exhaust* dan temperatur udara masuk saluran *intake manifold*)

P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> = beda tekanan pada *orifice* meter

Y = faktor ekspansi

### 3.6.4 Perhitungan FAR (*Fuel-Air Ratio*)

Perbandingan laju aliran konsumsi udara dengan laju aliran konsumsi bahan bakar disebut FAR, dapat dirumuskan dengan persamaan 2.8.

untuk campuran kaya bahan bakar  $\phi > 1$

untuk campuran stokiometris  $\phi = 1$

untuk campuran miskin bahan bakar  $\phi < 1$

Contoh perhitungan hasil eksperimen pada EGR 100% dan beban 100%:

$$\begin{aligned}\text{Fuel/ AirRatio} &= \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \\ &= \frac{1,4153}{4,7236} = 0.018942\end{aligned}$$

$$\phi = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)_{\text{aktual}}}{\left(\frac{F}{A}\right)_{\text{stoichiometry}}} \quad (3.5)$$

$$= \frac{0,01894}{0,0689} = 0.274917$$

### 3.6.5 Efisiensi Bahan Bakar

Efisiensi adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan per siklus, terhadap jumlah energi yang disuplai per siklus yang dapat dilepaskan selama pembakaran, dapat dirumuskan dengan persamaan 2.10.

### 3.6.6 Efisiensi Volumetrik

Efisiensi volumetrik hanya digunakan dengan mesin siklus empat-langkah yang memiliki proses induksi yang berbeda. Hal ini didefinisikan sebagai laju aliran volume udara sistem intake dibagi dengan tingkat dimana volume dipindahkan oleh piston, dapat dirumuskan dengan persamaan 2.12.